-ES_52: láminas de construcción y comparación Q-V

Autor: Víctor Estrada Díaz
Marco: UNIHOLOG - Máquina V
Fecha: 10 de octubre de 2026

Referencias del proyecto: Documento base · Traductores y compiladores de V · Presentación a la comunidad · Índice completo de recursos.

Licencia Dual – Ética y Uso

- **Texto (CC BY-NC-SA 4.0)**: compartir y adaptar; uso no comercial, atribución a Víctor Estrada Díaz y compartir igual.
- **Código (HL3)**: uso comercial permitido solo si cumple principios éticos. Prohibidos: guerras, violación de los derechos humanos, daño ambiental, explotación, vigilancia masiva y discriminación.

Principios éticos declarados por el autor: respeto a la dignidad humana, no uso lucrativo sin permiso y prohibición de usos dañinos.

Declaración: estradad.es/licencia.php. Más información: CC BY-NC-SA 4.0 · HL3. ORCID: 0000-0001-9942-1021.

Este documento reúne las dieciséis láminas del proyecto. Su propósito es describir las construcciones, preparar sus conexiones y estudiar qué ocurre al ejecutarlas. La comparación de Q y V debe considerar el problema, la preparación, las operaciones, los resultados y los tiempos de ejecución; no exige que dos ejecuciones individuales produzcan la misma muestra.

En la interpretación propuesta por el autor, la incertidumbre cuántica tiene su origen en una propiedad interna del espacio-tiempo: para fijar qué conocemos y qué desconocemos debemos situarnos en un punto de la línea temporal, $t = t_0$. La medida establece ese punto de referencia y hace conocido el resultado que antes de ella permanecía desconocido. El marco UNIHOLOG del autor explica esta relación mediante la función $f(t)$, entendida como función interna del espacio-tiempo: desde la referencia $t = t_0$ distingue lo definido para $t < t_0$ de lo aún indefinido para $t > t_0$.

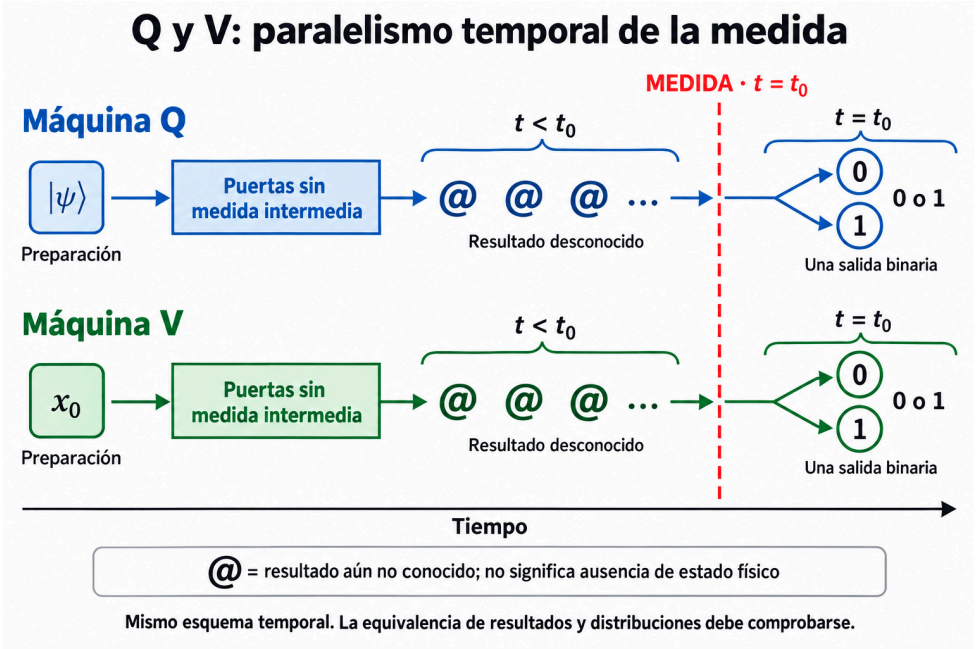
Aquí, «indefinido» se refiere al conocimiento disponible, no a la inexistencia física del pasado ni del futuro. En esta interpretación, el tiempo no desaparece por vivirlo: situarse en $t = t_0$ fija la referencia de conocimiento y medida, no elimina los demás puntos de la línea temporal. Esta es la idea temporal que guía la construcción de V y su comparación con Q; no identifica el desconocimiento con la inexistencia de un estado físico.

En V, `@` indica un resultado individual desconocido y no leído antes de la medida. Las conexiones y las relaciones entre unidades pueden conocerse sin leer sus resultados. Una preparación especificada, por ejemplo un auxiliar inicializado en cero, no debe confundirse con una lectura intermedia.

La lectura final conjunta se efectúa en $t = t_0$. Cada resultado binario registrado pertenece a $\{0, 1\}$. `@` no es un tercer valor físico. La descripción de una regla y la conexión ejecutable de esa regla son etapas distintas de la construcción, que este documento identifica.

Las imágenes se incluyen desde el directorio relativo `./img/`, equivalente a `.\img`. Las fórmulas utilizan exclusivamente delimitadores de dólar simple para matemática en línea y doble para matemática en bloque. Este anexo no sustituye el documento principal ES_52_Maquina_V_UNIHOLOG.pdf.

1. Paralelismo temporal de la medida

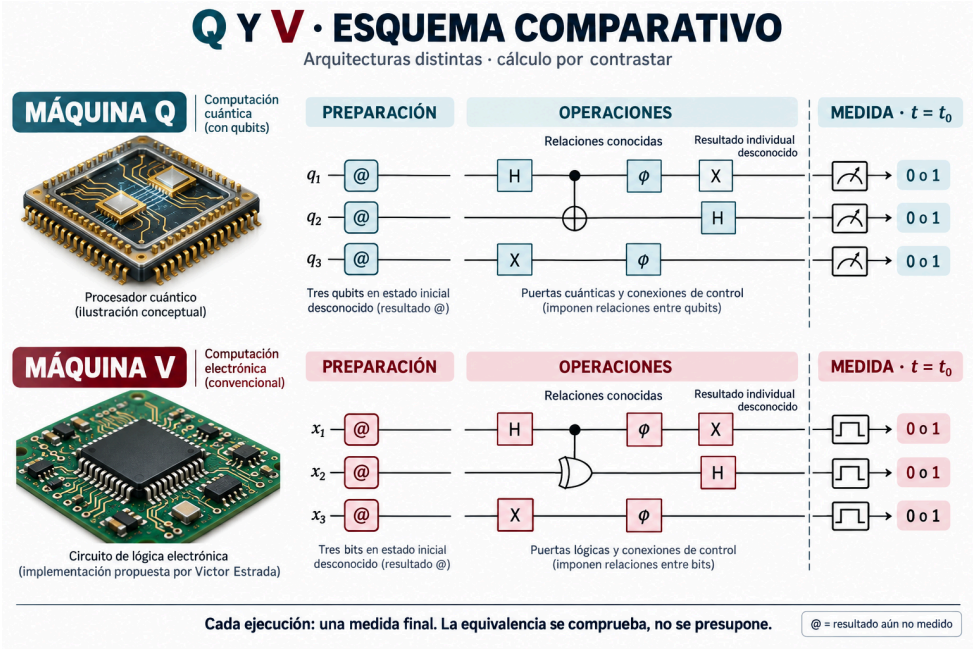


La fila superior representa Q; la inferior, la construcción propuesta de V. En V no se consultan los valores internos durante la ejecución. El símbolo @ representa el resultado aún desconocido, no la ausencia de un estado físico. La medida en $t = t_0$ registra una salida binaria:

$$M_Q(t_0) \in \{0,1\}, \qquad M_V(t_0) \in \{0,1\}.$$

El dibujo expresa el paralelismo temporal de preparación, operaciones sin medidas intermedias y lectura final. No representa una respuesta calculada previamente y ocultada. La coincidencia de resultados y distribuciones de ambas realizaciones debe comprobarse por protocolo; no se deduce únicamente del desconocimiento anterior a la medida.

2. Panorama Q1-V1



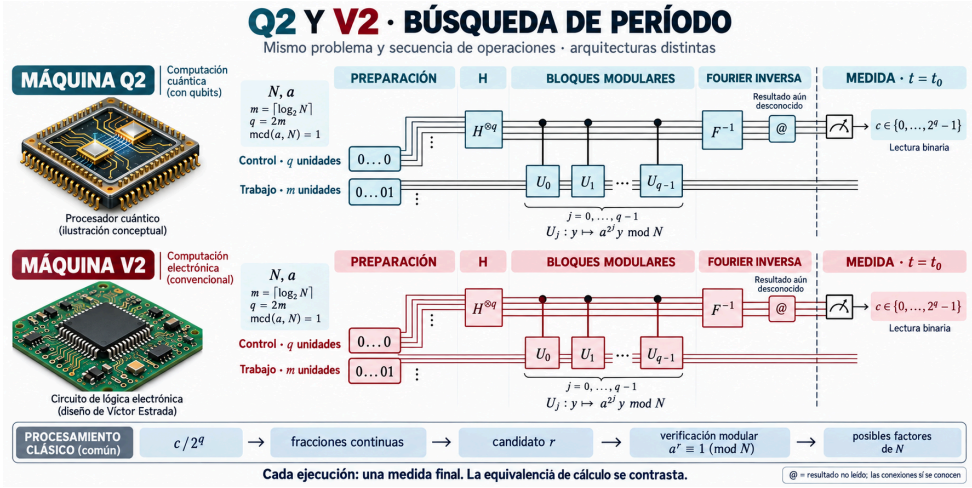
La lámina coloca Q arriba y V abajo. Alinea preparación, operaciones y medida final para distinguir la arquitectura de la tarea realizada. Las puertas pueden establecer relaciones sin revelar resultados individuales. Es un panorama conceptual: el detalle del protocolo de Deutsch se desarrolla en el documento principal, no queda especificado por todas las puertas genéricas del dibujo.

En ese protocolo se utiliza el oráculo reversible

$$(x, y) \longmapsto (x, y \oplus f(x)) .$$

El registro se prepara con $x = 0$ e $y = 1$; se aplica H a las dos unidades, después el oráculo y finalmente H a la primera. En Q, la lectura ideal de la primera unidad distingue las funciones constantes de las balanceadas. La construcción de V1 debe enlazar estas operaciones con su lectura final.

3. Panorama Q2-V2

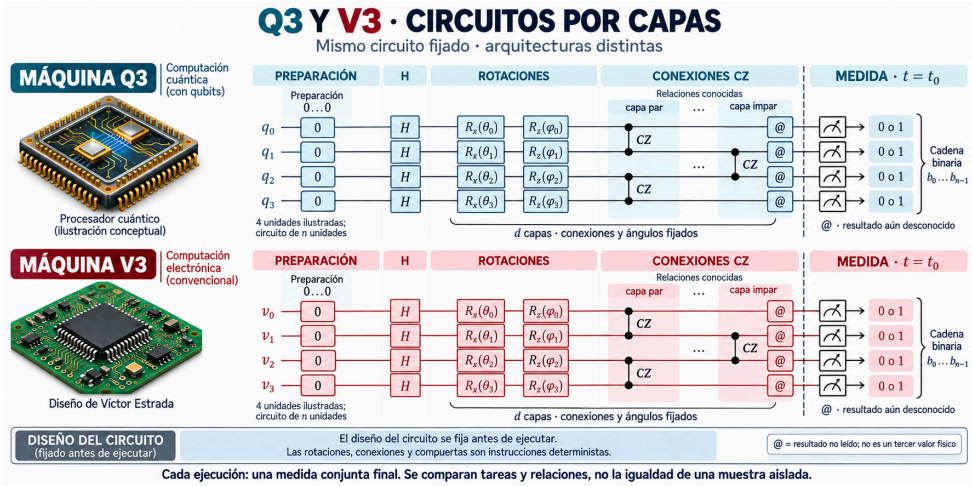


Q2 y V2 se organizan para estudiar el período de la función modular con los mismos parámetros conocidos N y a, donde $\gcd(a, N) = 1$. El registro de control recibe H, gobierna las multiplicaciones modulares y pasa por Fourier inversa antes de la medida. El trabajo se prepara en uno y el control en cero.

$$m = \lceil \log_2 N \rceil, \qquad q = 2m\,.$$

La lectura binaria c permite formar $c / 2^q$ y proponer un período mediante fracciones continuas. El candidato se verifica modularmente antes de obtener posibles factores. Una sola lectura no garantiza que se obtengan factores.

4. Panorama Q3-V3



La lámina representa la familia local de circuitos por capas del proyecto. La preparación, los ángulos y las conexiones se fijan antes de ejecutar. Las capas combinan H, rotaciones y CZ, con alternancia de pares conectados. El circuito ilustrado no se identifica con una instancia original de Willow.

La lectura final de un registro de n unidades entrega una palabra binaria

$$b = (b_0, \dots, b_{n-1}), \qquad b_j \in \{0, 1\}.$$

Se comparan las respuestas del mismo circuito preparado, no la igualdad obligatoria de dos palabras obtenidas en ejecuciones diferentes.

5. Inversor X y NOT

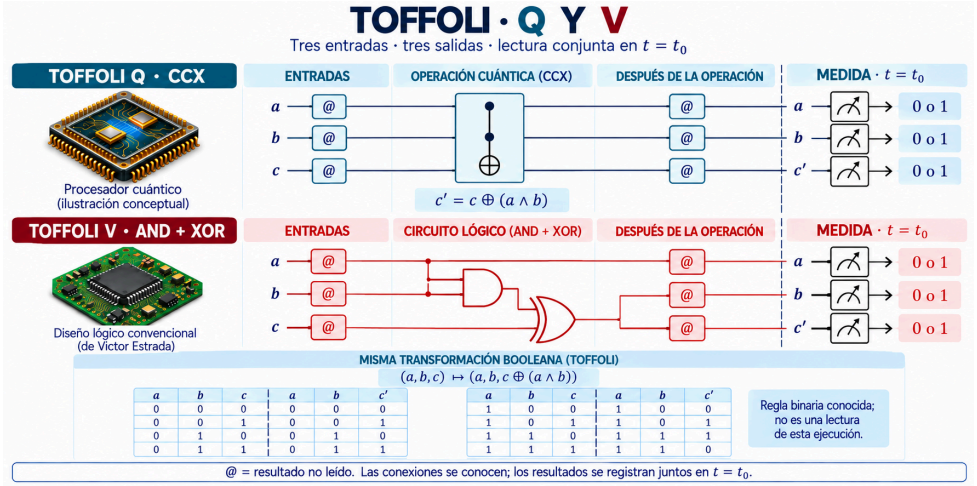


Con una entrada cuyo resultado es desconocido, la inversión está definida sin leer ese resultado. X intercambia los dos vectores de la base; NOT complementa el valor binario. Una entrada de base conocida puede permitir predecir la salida: el desconocimiento es la condición del caso ilustrado, no una propiedad universal de cualquier preparación.

$$X\,|\,0\rangle = |\,1\rangle, \qquad X\,|\,1\rangle = |\,0\rangle, \qquad b' = 1 - b\,.$$

La construcción de V mantiene bloqueada la lectura individual hasta $t = t_0$.

6. Toffoli: tres entradas y tres salidas



a	b	c	a	b	c'
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1

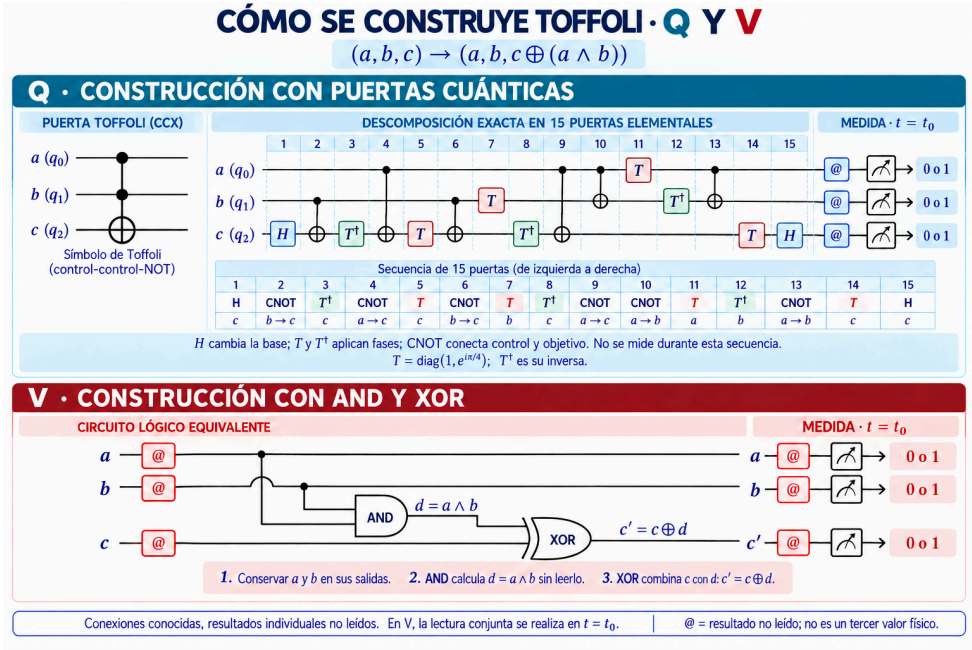
a	b	c	a	b	c'
1	0	0	1	0	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	1	0

Toffoli conserva los dos controles y complementa el tercer valor solo cuando ambos controles valen uno. No es una AND que elimina sus entradas. La comparación conserva las tres entradas y las tres salidas:

$$(a, b, c) \longmapsto (a, b, c'), \qquad c' = c \oplus (a \wedge b).$$

En V, AND forma una señal intermedia y XOR la combina con c, sin leer esa señal durante la operación. La tabla de la lámina expresa la regla binaria, no observaciones de una ejecución en curso.

7. Construcción de Toffoli

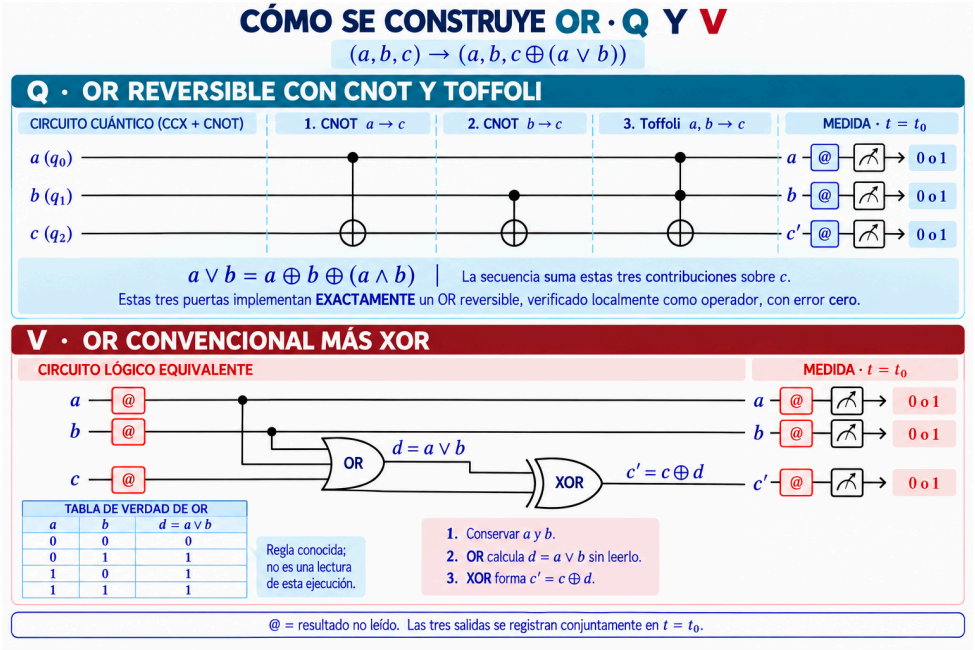


En Q, la lámina desarrolla una descomposición exacta de CCX con seis CNOT, dos H y siete puertas de fase T o su inversa. Las etiquetas de las fases son

$$T = \mathrm{diag}\,(1, e^{i\pi/4}), \qquad T^\dagger = \mathrm{diag}\,(1, e^{-i\pi/4}).$$

En V, los pasos de la construcción binaria son conservar a, b, formar $d = a \wedge b$ y producir $c' = c \oplus d$. Las derivaciones de señales no deben conectar directamente las líneas de entrada entre sí. El esquema de lectura conserva las tres salidas hasta la medida conjunta.

8. Construcción de OR reversible



Para comparar las mismas entradas y salidas se inserta OR en una transformación reversible de tres unidades:

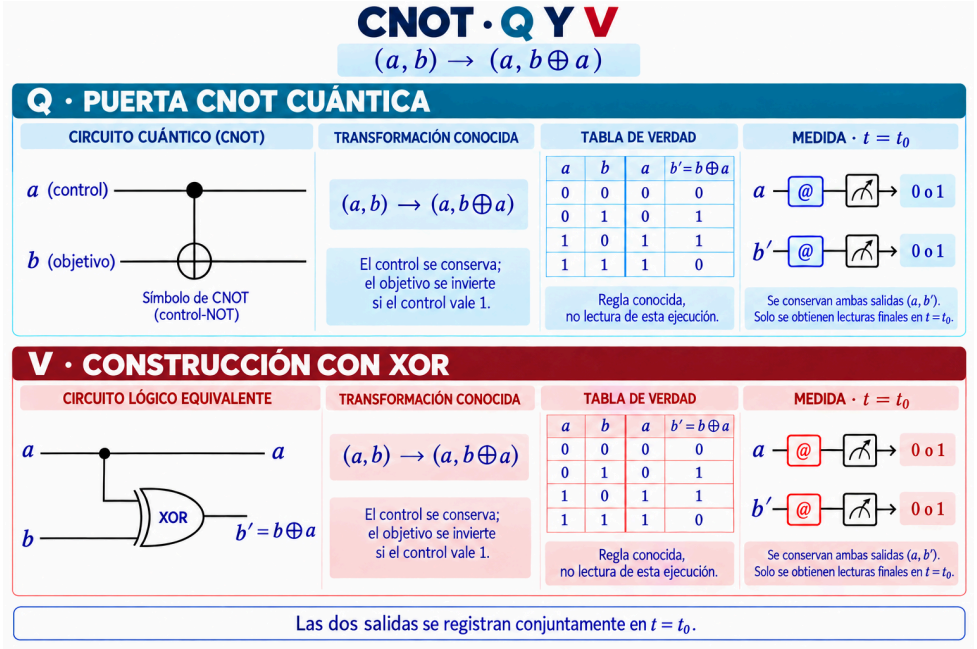
$(a, b, c) \longmapsto (a, b, c \oplus (a \vee b))$.

En Q se aplican, en orden, CNOT de a hacia c, CNOT de b hacia c y Toffoli con controles a, b y objetivo c. La construcción se apoya en

$a \vee b = a \oplus b \oplus (a \wedge b)$.

En V, OR produce $d = a \vee b$ y XOR combina c con d, conservando a, b. Las etiquetas de red repetidas indican las mismas señales, no generadores adicionales ni lecturas intermedias.

9. CNOT y XOR controlada

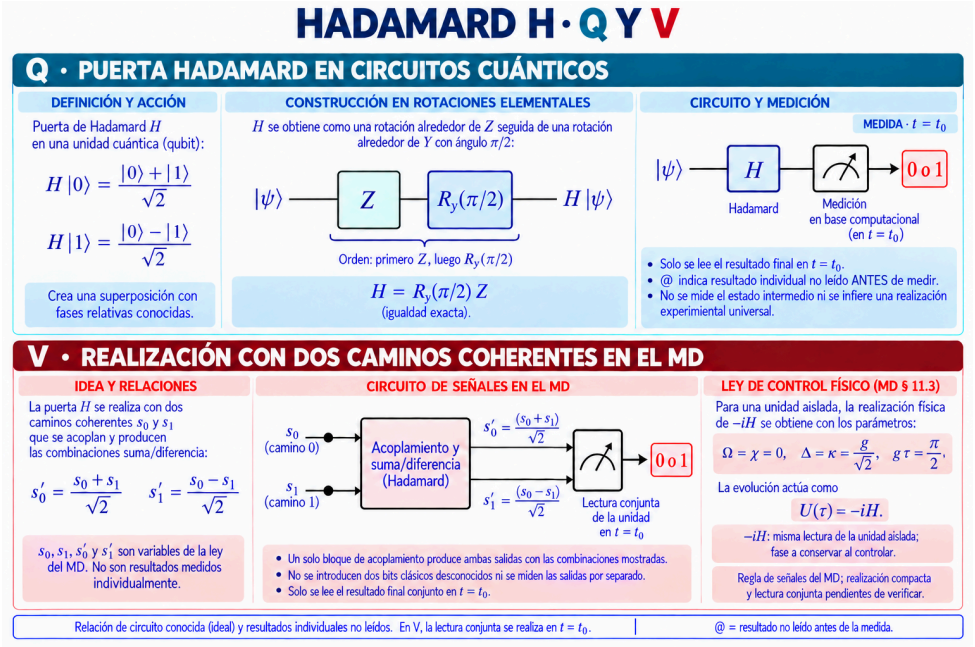


CNOT conserva el control y actualiza el objetivo. El circuito convencional de V utiliza XOR con las mismas dos entradas y conserva la salida de control:

$$(a, b) \mapsto (a, b'), \qquad b' = b \oplus a .$$

El resultado del objetivo no necesita leerse para conectar la operación. La coincidencia de la tabla binaria describe esta función; la evolución de fases de un registro general es otra parte del contraste de las máquinas.

10. Hadamard H



H combina los dos vectores de la base con suma y diferencia normalizadas:

$$H\,|\,0\rangle = \frac{|0\rangle + \,|\,1\rangle}{\sqrt{2}}, \qquad H\,|\,1\rangle = \frac{|0\rangle - \,|\,1\rangle}{\sqrt{2}}.$$

La construcción mediante rotaciones aplica Z primero y luego la rotación Y:

$$H = R_y\,(\pi\,/\,2)Z\,.$$

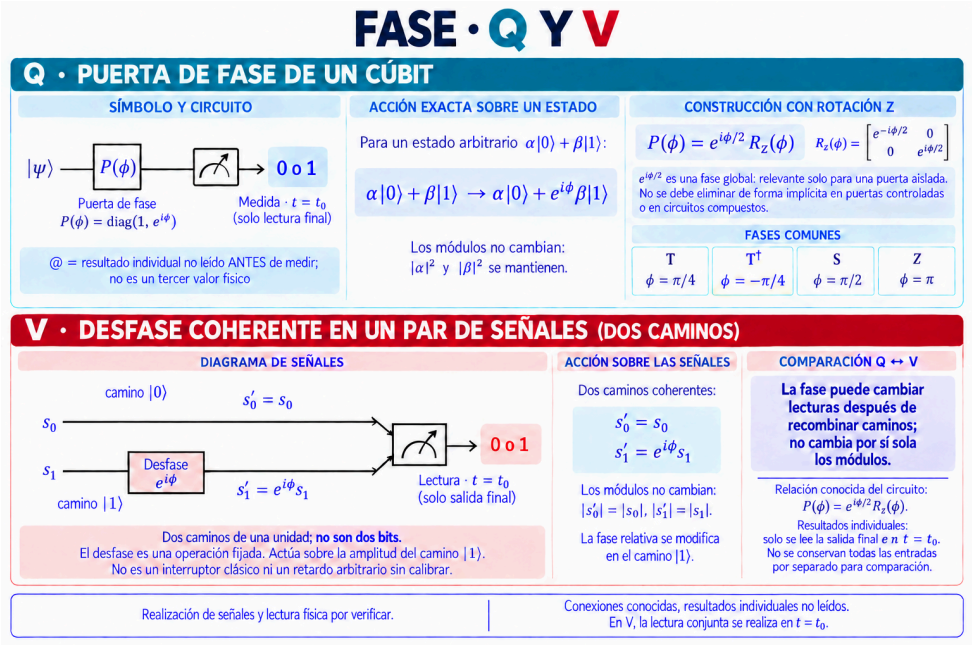
Para V se representan las leyes de dos caminos de señal del documento:

$$s_0^{'} = \frac{s_0 + s_1}{\sqrt{2}}, \qquad s_1^{'} = \frac{s_0 - s_1}{\sqrt{2}}.$$

Estos caminos pertenecen a una sola unidad, no a dos bits medidos. En el bloque de acoplamiento del MD, los parámetros $\Omega = \chi = 0$, $\Delta = \kappa = g\,/\,\sqrt{2}$ y $g\tau = \pi\,/\,2$ producen $-iH$. Esa fase global no altera la lectura de la unidad aislada, pero debe conservarse al construir una operación controlada. La conexión compacta de la ley de señales con la lectura de V sigue siendo una tarea de construcción, no se sustituye por un sorteo.

11. Fase: T, inversa T, S, Z y fase general

En este protocolo, la operación de fase no exige medir ni conocer previamente la fase interna de Q ni de V. No se impone a V una lectura que no se exige a Q. Se ejecuta sin lectura intermedia; la captura se realiza en $t = t_0$. El ángulo fijado como instrucción no es una lectura del estado desconocido.



La puerta de fase actúa sin cambiar los módulos de los coeficientes:

$$P(\varphi) = \mathrm{diag}\,(1, e^{i\varphi}), \qquad P(\varphi) = e^{i\varphi/2} R_z(\varphi).$$

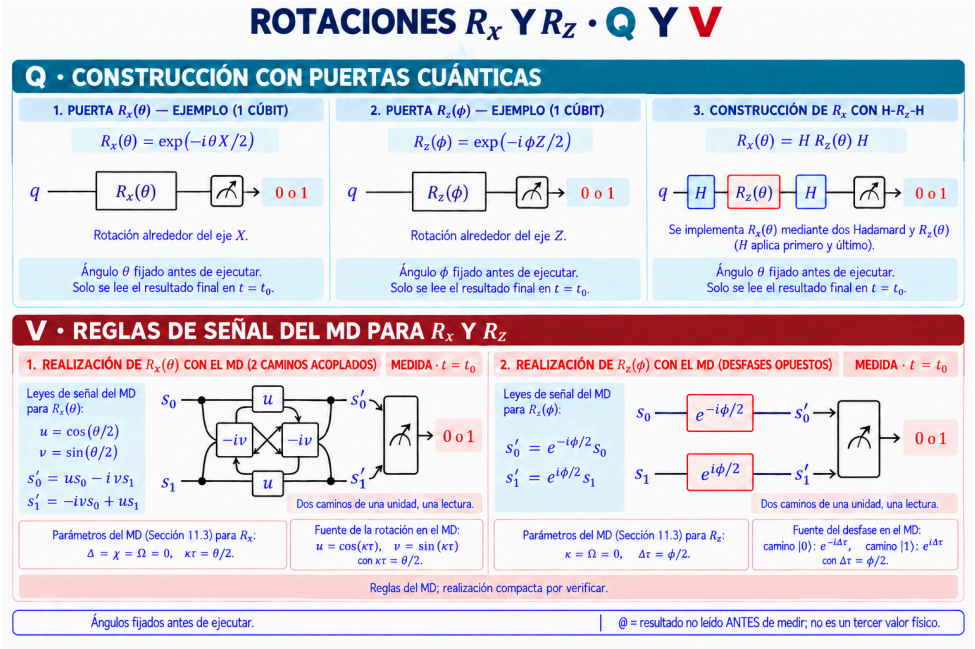
Las elecciones $\varphi = \pi/4, -\pi/4, \pi/2$ y π corresponden respectivamente a T, su inversa, S y Z. Una fase relativa puede cambiar lecturas posteriores cuando se combinan los caminos.

En la descripción de señales de V:

$$s_0' = s_0, \qquad s_1' = e^{i\varphi} s_1 .$$

El desfase se fija como operación y no constituye una lectura del valor individual. Una fase global de una unidad aislada no debe descartarse automáticamente cuando esa operación pasa a estar controlada.

12. Rotaciones Rx y Rz



Las rotaciones y su composición cumplen

$$R_x(\theta) = e^{-i\theta X/2}, \qquad R_z(\varphi) = e^{-i\varphi Z/2}, \qquad R_x(\theta) = HR_z(\theta)H.$$

Con $u = \cos(\theta/2)$ y $v = \sin(\theta/2)$, las leyes de Rx sobre los dos caminos de V son

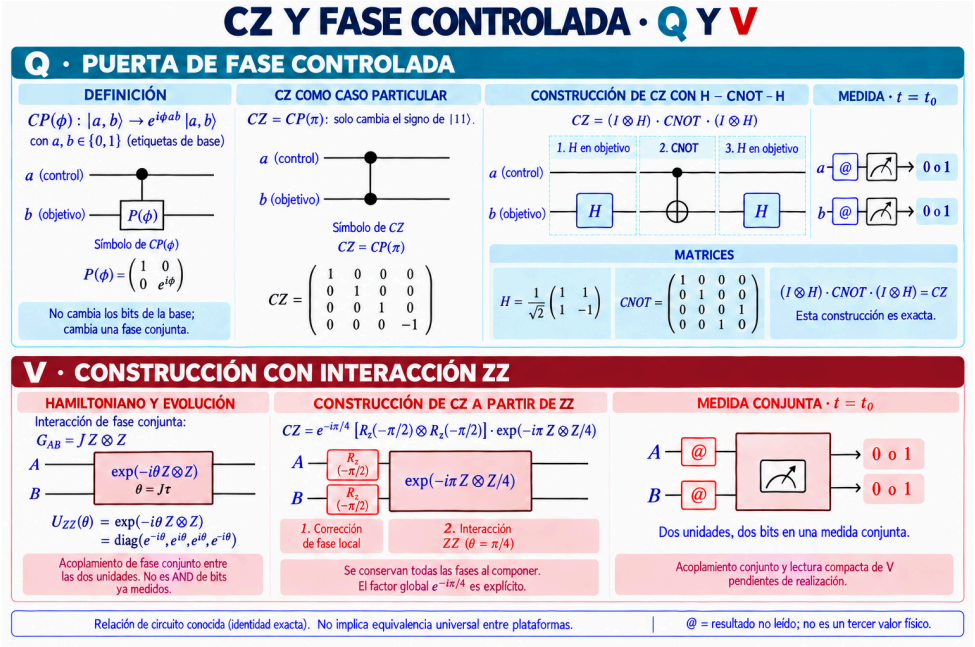
$$s_0' = us_0 - ivs_1, \qquad s_1' = -ivs_0 + us_1.$$

Para Rz, las fases de los caminos tienen signos opuestos:

$$s_0' = e^{-i\varphi/2} s_0, \qquad s_1' = e^{i\varphi/2} s_1.$$

Los ángulos se conocen antes de ejecutar. Los caminos de cada ejemplo alimentan una sola lectura de unidad, no medidas binarias separadas.

13. CZ y fase controlada



La fase controlada se define sobre los vectores de base mediante

$$\mathrm{CP}(\varphi)\,|a,b\rangle = e^{i\varphi ab}\,|a,b\rangle, \qquad \mathrm{CZ} = \mathrm{CP}(\pi).$$

CZ cambia el signo de la componente de base con ambas etiquetas iguales a uno. En Q puede construirse con H sobre el objetivo, CNOT y H sobre el objetivo otra vez. La interacción del MD utiliza

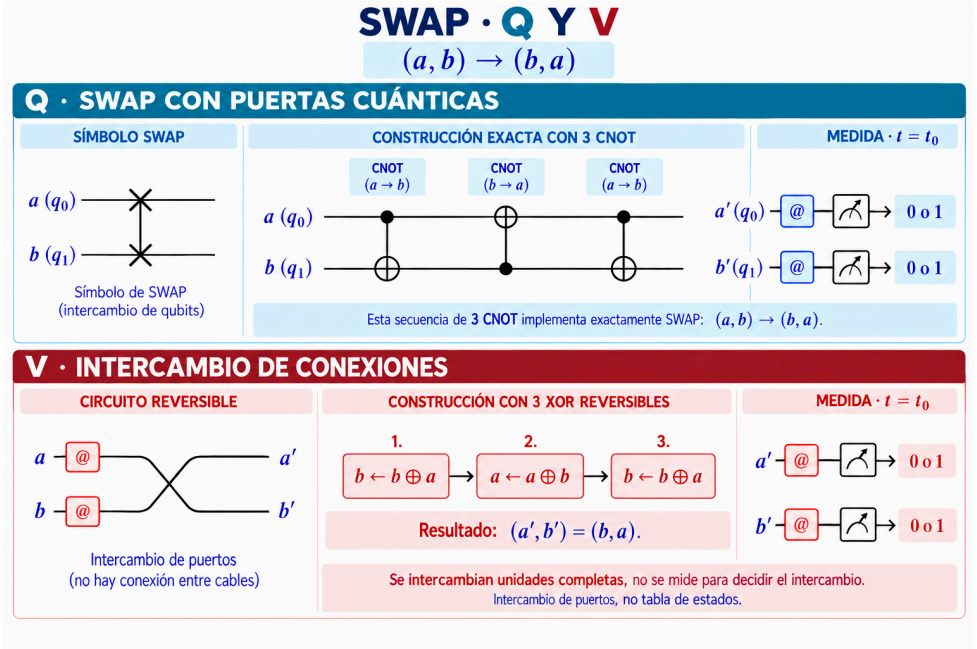
$$G_{AB} = JZ \otimes Z, \qquad U_{ZZ}(\theta) = e^{-i\theta Z \otimes Z}, \qquad \theta = J\tau.$$

La interacción ZZ sola no debe confundirse con CZ. La construcción incluye las correcciones de fase locales y el factor global:

$$\mathrm{CZ} = e^{-i\pi/4}\,[R_z(-\pi/2) \otimes R_z(-\pi/2)]\,e^{-i\pi Z \otimes Z/4}.$$

En V se describe un acoplamiento conjunto, no una AND sobre bits ya leídos. Las dos unidades entregan dos bits en una sola medida conjunta. La ley conjunta debe enlazarse con la realización del circuito antes de medir.

14. SWAP



SWAP intercambia las dos unidades completas:

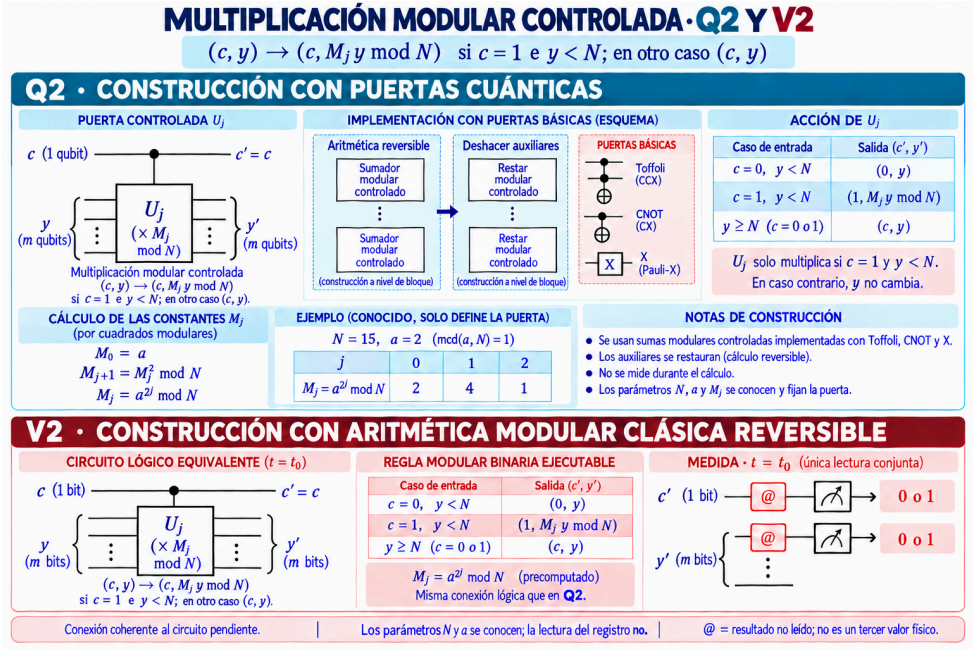
$(a, b) \mapsto (b, a)$.

En Q se construye con tres CNOT, dirigidas en orden de a hacia b, de b hacia a y de a hacia b. En V puede conectarse un intercambio de puertos o realizarse la secuencia de actualizaciones reversibles

$b \leftarrow b \oplus a, \qquad a \leftarrow a \oplus b, \qquad b \leftarrow b \oplus a$.

Las asignaciones se aplican de izquierda a derecha y usan el resultado actualizado del paso anterior. No son instrucciones para medir y decidir después qué cable intercambiar.

15. Multiplicación modular controlada



La puerta se configura con constantes conocidas; el período y los factores no se suministran como respuestas:

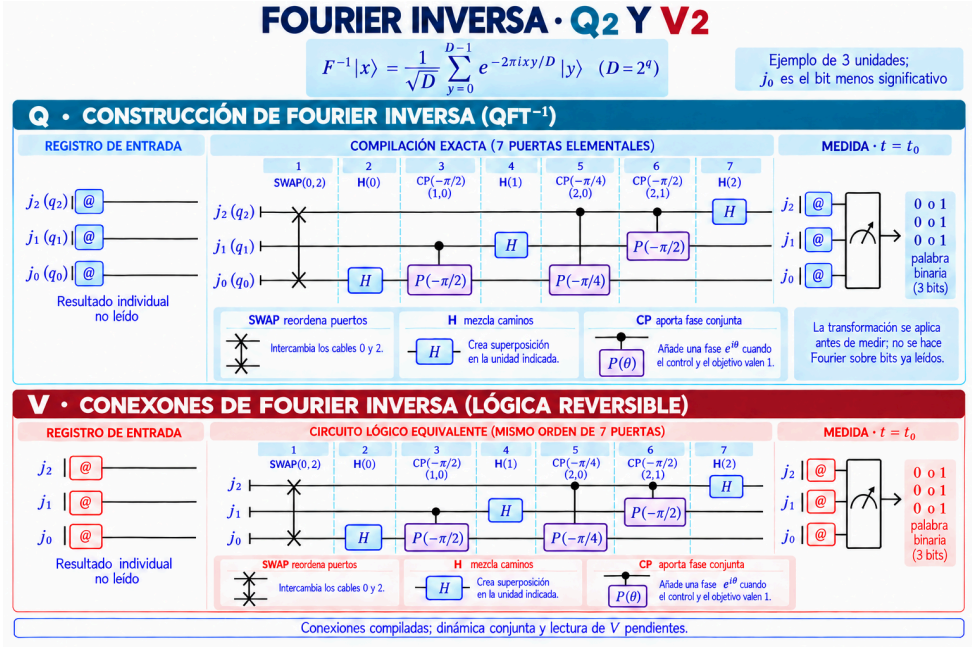
$$M_j = a^{2^j} \mod N, \qquad M_0 = a, \qquad M_{j+1} = M_j^2 \mod N\,.$$

Para un control c y un registro de trabajo y, se conserva el control y se define la acción sobre todo el dominio del registro:

$$y' = \begin{cases} M_j\, y \bmod N, & c = 1 \text{ y } y < N, \\ y, & c = 0 \text{ o } y \geq N\,. \end{cases}$$

La coprimalidad permite una permutación dentro del intervalo modular. El esquema Q identifica aritmética reversible, sumas modulares controladas y restauración de auxiliares; no es una lista exhaustiva de todas sus puertas elementales. V dispone de la relación modular binaria, cuya conexión coherente con H, las fases y la lectura del circuito completo debe construirse.

16. Fourier inversa



Para q unidades y $D = 2^q$, la transformación matemática es

$$F^{-1} \mid x\rangle = \frac{1}{\sqrt{D}} \sum_{y=0}^{D-1} e^{-2\pi i x y / D} \mid y\rangle .$$

La suma define la transformación; no exige que V almacene una tabla de estados o amplitudes. La lámina muestra el ejemplo de tres unidades, con la unidad cero como bit menos significativo. El orden es:

1. SWAP entre las unidades cero y dos.
2. H sobre la unidad cero.
3. Fase controlada de ángulo $-\pi / 2$ entre las unidades uno y cero.
4. H sobre la unidad uno.
5. Fase controlada de ángulo $-\pi / 4$ entre las unidades dos y cero.
6. Fase controlada de ángulo $-\pi / 2$ entre las unidades dos y uno.
7. H sobre la unidad dos.

Una fase controlada utiliza P, no Rz sin su corrección de fase. En V se conserva esta secuencia de conexiones: H mezcla caminos, CP aporta fase conjunta y SWAP reordena puertos. Su ejecución conjunta se debe conectar a la lectura final; no se aplica Fourier a bits ya medidos.